

GEOFIZIKA

Vol. 4

1987

Izvorni znanstveni rad
UDK 551.515

Zavisnost mezostrukture oblačnosti hladnog fronta o obliku profila frontalne površine

Mladjen Ćurić

*Institut za meteorologiju, Prirodno matematički fakultet
Beograd*

Primljeno 13. lipnja 1986, u konačnom obliku 3. veljače 1987.

Posmatrana su dva tipa profila frontalne površine i tipovi oblačnih sistema vezanih za njih. Talasni profil prate dve oblačne zone koje su paralelne s hladnim frontom. Za glatki profil je vezana jedna relativno uniformna oblačna zona. Promena profila, dobijenog iz jednačine, posmatrana je pod dejstvom jednostavnih dinamičkih i mikrofizičkih karakteristika oblaka. Doprinos mikrofizičkih produkata na izmenu profila do sada u literaturi nije posmatran. Ovde je pokazano da su ti doprinosi značajni. Oni se ne mogu zanemarivati u odnosu na doprinose koji potiču od članova ubrzanja u blizini granične površine i članova koji određuju stacionarni profil. Zbog njih se nagib granične površine povećava i do 30%.

Dependence of the mesostructure of the cold front cloud system on the shape of frontal profile

A waveform and a smooth slantwise sloped types of the frontal profiles are considered. Cloud systems associated with such profiles are analyzed.

A double wave of frontal profile is followed by two cloud bands oriented parallel to the approaching cold front. A smooth slantwise sloped profile is accompanied by one relatively uniform cloud system. Cloud system evolution is treated by simple theoretical consideration of dynamical and microphysical factors of clouds. It is shown that the microphysical products can enhance value of the frontal profile slope up to 30%.

1. Uvod

Karakteristike hladnog fronta umerenih širina upotpunjavane su kako teorijskim saznanjima tako i uvođenjem savremenih merenja (merenja Dopplerovim i konvencionalnim radarima, merenja pomoću aviolaboratorija, satelita itd.). Norveški, već klasični, model fronta (Bjerknes i Solberg, 1922) pokazao se kao dovoljno tačan, samo ako se procesi vezani za njega posmatraju u razmerama MASO (prema Fujiti, 1979) ili mezo α prema Hobbsu. Detaljna merenja omogućila su da se stekne uvid u procese razmere od mezo β

do mikro ϵ . Ta saznanja su stečena uglavnom zadnjih desetak godina. Najčešće su analizirane padavine i oblačnost vezani za front. Tako su Austin i Houze (1972) na osnovu radarskih merenja, prema trajanju i količini padavina, definisali tri oblasti sa padavinama: veliku mezorazmernu oblast (širina od 20–30 km i dugačka 100 km), malu mezorazmernu oblast (površina 100–400 km²) i čelijsku oblast. Čelije su najčešće unutar malih mezorazmernih oblasti sa površinom manjom od 100 km². Sličnu klasifikaciju su izvršili Matsumoto i Tsuneoka (1969) i Ogura i dr. (1985) na primerima premeštanja hladnog fronta preko severnog dela Kjušja, kada su padavine za neka mesta preko kojih je prošao front iznosile 412 mm za nešto manje od 5 časova.

Više autora je pokazalo da se oblačnost i oblasti sa padavinama koje su povezane hladnim frontom najčešće nalaze na manjim razmerama nego mezo α (Houze i dr. 1976; Houze i Hobbs, 1982; Hobbs, 1978a). Izvršene su mnogobrojne klasifikacije oblačnih traka i padavina, Peng i dr. (1983).

Da bi se pratio razvoj oblačnosti i padavina, istraživana je organizacija mikrofizičkih i dinamičkih procesa na mezo razmerama, Matejka i dr. (1980). Oni su našli da je oblast uzlaznih kretanja na nosu hladnog fronta široka 1–5 km, a uzlazne brzine su 3–5 m/s. Sa druge strane (u hladnom vazduhu) nalazi se slična zona sa silaznim kretanjima. U oblacima s uzlaznom strujom sadržaj vode iznosi od 0.4–4.4 g/kg i veći je nego u bliskoj okolini, dok je sadržaj ledenih kristala od 30–140/litru. Dalje uz frontalnu površinu, gde su uzlazne brzine nekoliko desetina cm/s, sadržaj prehladene vode je oko 0.4 g/kg, a ledenih kristala u toplijem vazduhu od 2–16/litru dok je u hladnijem, ispod frontalne površine, 3–50/litru.

Sva saznanja o karakteristikama oblaka hladnog fronta nisu takva da se mogu operativno koristiti u prognostičke svrhe. Neka od njih su dobijena samo u specijalno organizovanim projektima kao što je CYCLES projekt (Hobbs, 1978b), i odnose se samo na tu situaciju. Za operativno *predočavanje* vremena (nowcasting) na raspolaganju su radarski i satelitski snimci oblačnosti i padavina. Ti snimci su dovedeni u vezu sa dinamičkim faktorima koji ih uslovljavaju, definicijom tzv. „prenosnih traka”, Harrold (1973). Taj novi koncept analize oblačnosti, padavina i strujanja u blizini fronta najviše je razvio Browning (1985), Browning i Hill (1985), kao i Carson (1980), Ryan i Willson (1985), itd. Taj koncept se smatra nezamenljivim pri svakodnevnim interpretacijama radarskih i satelitskih snimaka, jer se time nudi određen broj konceptualnih modela karakteristika fronta.

Ako se pojave koje su vezane za hladni front, oblačnost u prvom redu, uzmu kao primarne (a tako se mora uzimati jer savremeni koncept predočavanja vremena stavlja te podatke u prvi plan), tada je od sekundarnog značaja kakva je granica između hladnog i toplog fronta. Međutim, kako svako stanje, pa i oblačnosti treba tumačiti kako je i pod dejstvom kojih bitnih faktora nastala, potrebno je poznavati oblik granične zone između hladnog i toplog vazduha.

Ovaj rad pokazuje da dva osnovna tipa profila granične površine, glatki i talasni tip, uslovljavaju svojim oblikom i dva osnovna tipa oblačnosti. Takođe je prikazan doprinos tipičnih dinamičkih i mikrofizičkih procesa u oblacima hladnog fronta koji modifikuju izgleda ta dva profila.

2. Povezanost glatkog profila frontalne površine sa mezostrukturnim karakteristikama oblačnosti

Neka se uzme da se osnovne karakteristike hladnog i toplog vazduha, pritisak i temperatura, menjaju na način kako je urađeno u radu Čurić (1977). Kada se ide u horizontalnom pravcu prema frontu, pritisak opada u hladnom i toplom vazduhu. Promene određuju koeficijenti a i b u hladnom, odnosno a' i b' u toplom vazduhu. Temperatura opada sa visinom po vertikalnom gradijentu γ . Promena pritiska sa visinom u hladnom vazduhu neka bude po zakonu

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -g\rho(1+Q) \quad (1)$$

gde je Q masa kondenzata i sublimata u jedinici mase vazduha. Slično neka važi za topli vazduh, tim što će se karakteristične vrednosti označiti sa prim.

Iz klasičnog izraza za nagib granične površine dobija se

$$\frac{dz}{dx} = \frac{(a-a')x^2 + (b-b')x^3}{g[(\rho-\rho') + (Q\rho - Q'\rho')]} \quad (2)$$

Osa x je horizontalna, normalna na front i usmerena prema toplom vazduhu. Ako se pretpostavi da je $Q = Q'$, posle upotrebe jednačine stanja sledi

$$\frac{dz}{dx} = \frac{(a-a')x^2 + (b-b')x^3}{gk\delta(1+Q)} TT' e^{\frac{g(1+Q)z}{RT}}, \quad (3)$$

gde je $\delta = T'_0 - T_0$, $k = \frac{p_0}{R}$ i \bar{T} srednja temperatura po visini. Indeks nula se odnosi na vrednosti u prizemlju. Posle razvoja člana $e^{(\cdot)}$ u red, zanemarivanja manjih članova i integracije dobija se

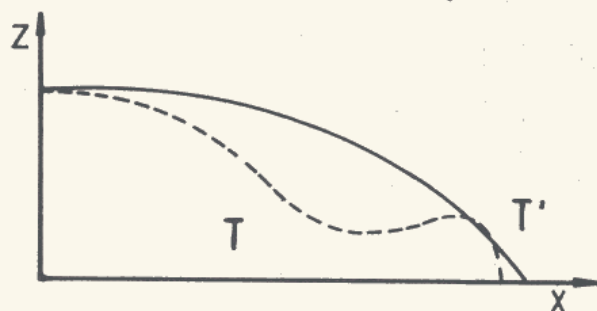
$$z = z_0 + \frac{T_0 T'_0}{gk\delta(1+Q)} \left(\frac{a-a'}{3} x^3 + \frac{b-b'}{4} x^4 \right) \quad (4)$$

Ovo je jednačina profila granične površine. Za slučaj kada je $a, b < 0$ i $a', b' > 0$ šema profila je prikazana na sl. 1. punom linijom.

Iz izraza (4) se vidi da je to glatka granična površina. Sadržaj kondenzata i sublimata smanjuje nagib granične površine u odnosu na slučaj suve atmosfere. Prisilno dizanje toplog vazduha uz graničnu površinu (uz postojanje odgovarajuće vlage) je glavni uzročnik pojavi kondenzaciono-sublimacionih procesa, odnosno oblika vezanih za front. Ta prisilna vertikalna komponenta postepeno se smanjuje idući uz glatku površinu, što se vidi iz izraza

$$w = v_s \frac{|(a-a')x^2 + (b-b')x^3|}{gk\delta(1+Q)} T_0 T'_0 \quad (5)$$

gdje je v_s algebarski zbir brzine premeštanja fronte i toplog vazduha prema frontu. Uz granicu, zbog ove brzine, trebalo bi da se pojavi relativno uniformni oblačni sloj. Relativno uniformni oblačni sloj je često identifikovan na radarskim i satelitskim snimcima (Browning i Monik, 1982, Browning, 1985).



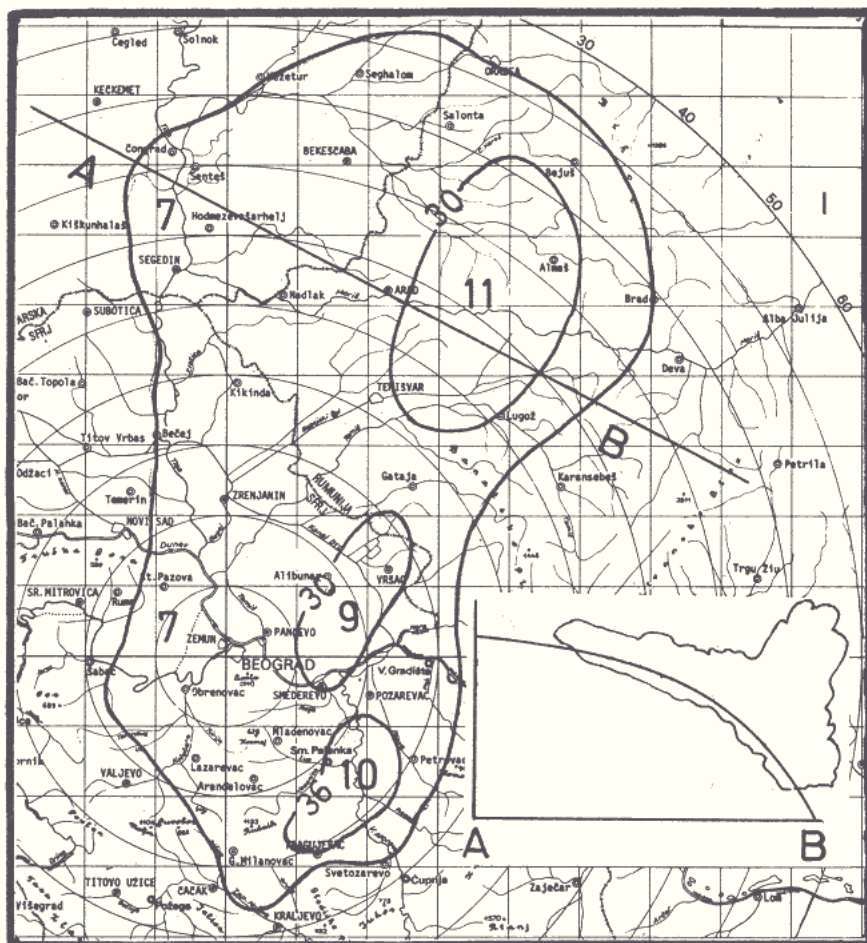
Slika 1. Shematski prikaz dva tipa profila frontalne površine: Glatki tip (puna linija) i talasni tip (isprekidana linija).

Figure 1. Schematic diagram of the smooth slantwise sloped (full line) type of frontal profile and waveform (dashed line).

U realnim situacijama (jedna je prikazana na sl. 2), radarska slika oblaka pri ovakvom profilu frontalne površine nešto je neuniformnija u prednjem delu, neposredno oko linije fronta u prizemlju. Tu su i visine oblaka i refleksija od njih veći nego u ostalom delu slike. To je posledica povećanog nagiba granične površine u prizemlju zbog sile trenja.

3. Povezanost talasnog profila frontalne površine sa mezostrukturnim karakteristikama oblačnosti

Talasni profil hladnog fronta suve atmosfere dobijen je analitički (Čurić, 1979). S obzirom na odsustvo mikrofizičkih produkata, talasni profil se ne može tumačiti sa njima. On se pojavljuje kao posledica nejednake promene pritiska i temperature u horizontalnom i vertikalnom pravcu u hladnoj i toploj vazdušnoj masi. Takav profil je prikazan na sl. 1. isprekidanom linijom. Glavni faktor koji određuje intenzitet dinamičkog faktora odgovornog za tip oblačnosti (prisilnu vertikalnu komponentu toplog vazduha) je oblik granične površine. Sa sl. 1. je jasno da će prisilna komponenta dizanja imati dva maksimuma ako ide uz graničnu površinu. Prvi je na nosu, gde granica preseca Zemljinu površinu. To mesto se često naziva (prema pojavama koje ga prate) primarni front. Drugi maksimum sledi posle razvoja. I za njega su karakteristične slične pojave kao kod prvog slučaja kako je pokazao Čurić (1979). Mesto na zemlji ispod ovog maksimuma označava se često kao sekundarni front. Vidi se da su u ovom slučaju pojave vezane za jednu istu graničnu površinu. Rastojanje između ova dva maksimuma visina granične površine je različito. Neki slučajevi su prikazani u radu Čurić (1979). Red veličine je stotinjak kilo-



Slika 2. Tipična radarska slika oblačnosti glatkog tipa frontalnog profila na dan 21. 5. 1986. u 22⁰⁰ sata. Izolinije su u decibelima. Krupnije brojke označavaju radarsku visinu oblaka izraženu u kilometrima. Shema frontalnog profila i oblačnosti na potezu AB prikazana je u uglu slike.

Figure 2. Plan position section of radar echo pattern of cloud system associated with a smooth slantwise sloped type of the frontal profile on May 21, 1986, at 2200 h (L. T.) Contours of reflectivity are in dBZ. Radar height of clouds are in km. Schematic vertical section along line AB is shown in corner.

metara. Toliko je, znači, i tipično rastojanje između središta oblačnih traka koje prate te maksimume visine.

Dinamički i mikrofizički procesi koji se javljaju u oblacima hladnog fronta modifikuju talasni front. Tu modifikaciju nije lako dobiti analitički, njihovim uključivanjem na način kao kod glatke granične površine. Zbog toga će se analizirati njihov uticaj na nagib

granične površine u mestu „primarnog” i „sekundarnog” fronta prema tipičnim vrednostima tih faktora. Tipične vrednosti su uzete iz merenja pomoću aviolaboratorija (Matejka i dr. 1980, Browning, 1985).

Izraz za nagib granične površine sada se neće posmatrati u njegovom stacionarnom obliku, kao u prvom slučaju, već u nestacionarnom. Dobiće se iz dinamičkog graničnog uslova koristeći jednačinu kretanja za hladni vazduh u sledećem obliku:

$$\dot{\mathbf{v}} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - f \mathbf{k} \times \mathbf{v} - g \mathbf{k} - \mu \mathbf{k} \cdot \mathbf{v} - g (q_w + q_l) \mathbf{k} \quad (6)$$

U jednačinama su: q_w , q_l masa vode, odnosno masa leda po jedinici mase vazduha, $\mu = \frac{1}{m} \frac{dm}{dz}$ koeficijent uvlačenja. Ostale oznake imaju uobičajeno značenje.

Množenjem (6) skalarno sa ρdr (gde je $dr = (dx, dy, dz)$ vektor koji leži na graničnoj površini) i sabiranjem sledi:

$$dp = \frac{1}{3} \left\{ (f\rho v - \dot{u}\rho) dx - (f u \rho - \dot{v}\rho) dy + [-g\rho(1+Q) - \mu w - \dot{w}\rho] dz \right\} \quad (7)$$

gde je $Q = q_w + q_l$.

Slično se iz jednačina kretanja za topli vazduh dobija:

$$dp' = \frac{1}{3} \left\{ (f\rho' v' - \dot{u}'\rho') dx + (f u' \rho' - \dot{v}'\rho') dy + [-g\rho'(1+Q') - \mu' w' - \dot{w}'\rho'] dz \right\}. \quad (8)$$

Iz dinamičkog graničnog uslova se dobijaju izrazi za nagib u odnosu na dve horizontalne ose:

$$\frac{dz}{dx} = \frac{k_1}{A} \quad (9)$$

$$\frac{dz}{dy} = \frac{k_2}{A}, \quad (10)$$

gde su:

$$k_1 = \frac{1}{g} [f(v\rho - v'\rho') - (\dot{u}\rho - \dot{u}'\rho')], \quad (11)$$

$$k_2 = \frac{1}{g} [-f(u\rho - u'\rho') - (\dot{v}\rho - \dot{v}'\rho')], \quad (12)$$

$$A = \rho(1-Q) - \rho'(1+Q) + (\dot{w}\rho - \dot{w}'\rho') - (\mu w - \mu' w'). \quad (13)$$

Iz posljednjih izraza se vidi kako se menja nagib granične površine zbog ubrzanja vazduha sa jedne i sa druge strane granične površine, zbog sadržaja sublimata i kondenzata u vazduhu i zbog uvlačenja. Analiziraće se samo uticaj poslednja dva faktora, pošto je doprinos prvog poznat. Da bismo istakli značaj produkata mikrofizičkih procesa na modifikovanje nagiba, posmatrajmo ih bez prisustva članova ubrzanja i uvlačenja. Ukoliko je $Q' \approx Q$ tada je

$$\frac{(\operatorname{tg} \alpha)_Q}{(\operatorname{tg} \alpha)_s} = \frac{1}{1 + Q} \quad (14)$$

Vidi se da se nagib $(\operatorname{tg} \alpha)_Q$ smanjuje kada je prisutna vodnost u odnosu na klasični stacionarni nagib, $(\operatorname{tg} \alpha)_s$. To smanjenje je svakako malo, manje od 1% i kada je Q izuzetno veliko (oko 10 g/kg). Realnija je situacija kada je Q vrlo malo a Q' veće. To je naročito slučaj u blizini „primarnog” fronta. Uzmimo da je $Q = 0$. Tada je

$$\frac{(\operatorname{tg} \alpha)_Q}{(\operatorname{tg} \alpha)_s} = \frac{\rho - \rho'}{\rho - (1 + Q')\rho'} \quad (15)$$

Za tipičan slučaj, kada je $T - T' \approx 10^\circ \text{K}$ i $Q' = 2 \text{ g/kg}$, kondenzati i sublimati u toplom vazduhu doprinose povećanju nagiba oko 10%. To je značajno povećanje jer u istom procentu se povećava i prisilna vertikalna brzina.

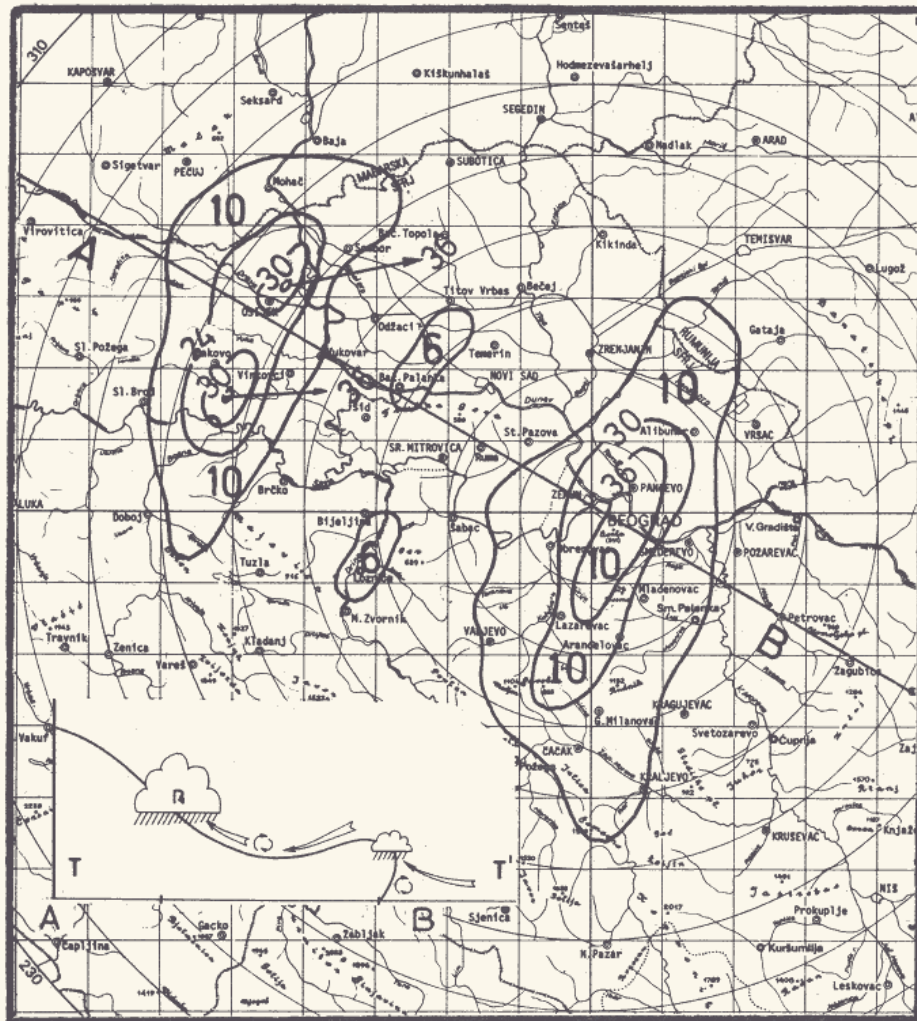
Vidimo da se u ovim situacijama talasni tip frontalne površine još više pojačava. To pojačavanje može da istakne oblačne trake koje prate mesto „primarnog” i „sekundarnog” fronta. Ono se manifestuje na radarskim snimcima povećanjem refleksivnosti, proširenjem oblačnog sloja i povećanjem radarske visine oblaka. Tipična promena se dešava kao što je pokazano na radarskom snimku Radarskog centra „Košutnjak” od 21. 5. 1985. u 17⁰⁰, sl. 3. i sat kasnije istog dana, sl. 4. Analizirani položaj fronta na sinoptičkoj karti u 18⁰⁰ sati nalazi se na potezu Temišvar – Smederevo – Kragujevac – Novi Pazar.

Uvlačenje kao proces je vrlo značajno, kako kod individualnih oblaka relativno malih dimenzija (kakvi su konvektivni oblaci), tako i kod prostranih uniformnijih oblačnih slojeva. Sam proces uvlačenja nije do sada analiziran (koliko se može videti iz literature) za tako složen oblačni sistem kakav je onaj vezan za hladni front. Ipak može se reći da je ovaj proces dovoljno poznat za pojedine delove frontalnog oblačnog sistema. Tako za konvektivne oblake, koji se uglavnom uvek javljaju oko linije fronta u prizemlju, uvlačenje mereno koeficijentom μ varira od vrednosti $10^{-2} - 10^{-5} \text{ m}^{-1}$. Ono je izraženije u oblacima toplog vazduha nego u delu oblaka koji se nalaze u hladnom vazduhu. To se dešava zbog izraženijih turbulentnih procesa u perifernim delovima oblaka u toplom vazduhu nego u hladnom. Turbulentno uvlačenje je samo deo od ukupnog uvlačenja.

Ne ulazeći u mehanizme uvlačenja i njegovog uticaja na karakteristike oblaka, iz (9), (10) i (13) vidi se da kada je $\mu, \mu' > 0$, $w < 0$ i $w' > 0$ uvlačenje utiče na povećanje nagiba granične površine.

U opštem slučaju odnos je nagiba granične površine kada se uzme u obzir uvlačenje, $(\operatorname{tg} \alpha)_{\mu}$, i bez uvlačenja $\operatorname{tg} \alpha$:

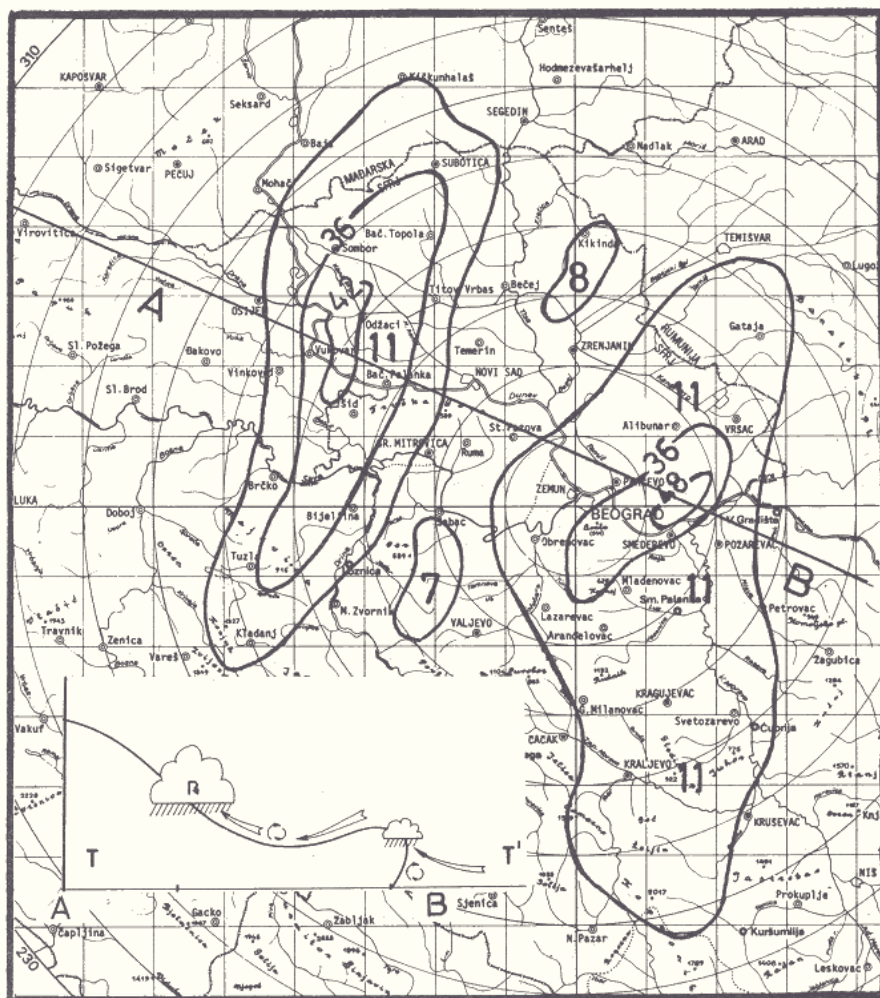
$$\frac{(\operatorname{tg} \alpha)_{\mu}}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{1}{1 + \frac{\mu w - \mu' w'}{g(\rho - \rho')}} \quad (16)$$



Slika 3. Tipična radarska slika oblačnosti talasnog tipa frontalnog profila na dan 21. 5. 1985. u 17⁰⁰ sati. Oznake su kao na sl. 2.

Figure 3. Plan position section of radar echo pattern of cloud system associated with a waveform type of the frontal profile on May 21, 1985. at 1700 h(L. T.). The labells are same as in fig. 2.

Ako se imaju u vidu tipične vrednosti za vertikalne brzine, $w = -1$ m/s, $w' = 5$ m/s (Browning, 1985) i ako se uzme da je $\mu = \mu' = 10^{-2} \text{ m}^{-1}$, tada se nagib zbog uvlačenja povećava za tridesetak procenata. Ovim se može značajno povećati prisilna vertikalna komponenta brzine i tip oblaka.



Slika 4. Isto kao sl. 3., s tim što se odnosi na 18⁰⁰ sati.

Figure 4. Same as fig. 3 but for 1800 h (L. T.).

4. Zaključak

Radarska i satelitska slika oblačnosti jeste (ili će uskoro biti) svakodnevni podatak kao temperatura, pritisak, itd. Dobijeni podatak o oblačnosti će se koristiti u raznim jednačinama kao početni podatak. Dok se takve kompleksnije jednačine ne učine operativ-

nijim u raznim modelima razvoja oblačnosti, nameće se potreba da se pronade relativno jednostavan postupak kojim će se moći dobiti razvoj datog tipa oblaka.

U ovome radu radarske slike oblačnosti hladnog fronta razvrstane su u dve osnovne kategorije prema obliku profila frontalne površine. To je prva i relativno gruba podela. Međutim, analiza sprovedena u radu o promeni profila granične površine daje mogućnost da se evolucija oblačnog sistema tumači realnim dinamičkim i mikrofizičkim karakteristikama oblaka. Takva tumačenja su nužna da se uzimaju u obzir sa stanovišta korišćenja radarskih slika oblačnosti i padavina za potrebe predočavanja vremena (nowcasting).

Zahvalnost

Radarske slike oblačnosti dobijene su iz Republičkog hidrometeorološkog zavoda SR Srbije. Slike je tehnički obradio Slobodan Niković, a tekst rukopisa prekućala Verica Vesić. Ustanovi i pojedincima toplo se zahvaljujem na pomoći.

Literatura

- Austin, P. M. i R. A. Houze (1972): Analysis of the structure of precipitation patterns in New England, *Journal of Applied Meteorology*, **11**, 926–935.
- Bjerknes, J i H. Solberg (1922): Life cycle of cyclones and the polar front theory of atmospheric circulation, *Geofysiske Publikasjoner*, **3**, No. 1, 3–18.
- Browning, K. A. (1985): Conceptual models of precipitation systems, *ESA Journal*, **9**, No. 2, 157–180.
- Browning, K. A. i F. F. Hill (1985): Mesoscale analysis of a polar trough interacting with a polar front, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **111**, 445–462.
- Browning, K. A. i A. G. Monik (1982): A simple model for the synoptic analysis of cold fronts, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **108**, 435–452.
- Carson, T. N., (1980): Airflow trough midlatitude cyclones and the comma cloud pattern, *Monthly Weather Review*, **108**, 1499–1509.
- Čurić, M. (1977): A model for the calculation of the appearance of frontal profiles and of the vertical velocity of air at a front, *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie*, Ser. A, **26**, 13–19.
- Čurić, M. (1979): An example of a waveform of the frontal profile, *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie*, Ser. A, **28**, 187–193.
- Fujita, T. T. (1979): Objectives, operation, and results of Project NIMORD. Preprints 11th Conference Severe Local Storms, American Meteorological Society, 259–266.
- Harold, T. W. (1973): Mechanisms influencing the distribution of precipitation within baroclinic disturbances, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **99**, 232–251.
- Hobbs, P. V. (1978a): Organization and structure of clouds and precipitation of the mesoscale and microscale in cyclonic storms, *Reviews of Geophysics and Space Physics*, **16**, 741–755.

- Hobbs, P. V. (1978b): The University of Washington's CYCLE PROJECT. An overview, Proc. American Meteorological Society Conf. on Cloud Physics, Issaquah, 271–276.
- Houze, R. A. et all. (1976): Mesoscale rainbands in extratropical cyclones, Monthly Weather Review, **104**, 868–878.
- Houze, R. A. i P. V. Hobbs (1982): Organization and structure of precipitating cloud systems, Advances in Geophysics, **24**, 225–315, Academic Press, New York.
- Matejka, T. J., R. A. Houze and P. V. Hobbs (1980): Microphysics and dynamics of clouds associated with mesoscale rainbands in extratropical cyclones, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, **106**, 29–56.
- Matsumoto, S. and Y. Tsuneoka (1979): Some characteristic features of the heavy rainfalls observed over the western Japan: Displacement and life cycle of mesoscale rainfall cell, Journal of Meteorological Society of Japan, **47**, 267–278.
- Ogura, Y., T. Asai and K. Dohi (1985): A case study of a heavy precipitation event along the Baiu front in northern Kynshu, 23 July 1982: Nagasaki heavy rainfall, Journal of the Meteorological Society of Japan, **63**, 883–900.
- Peng-Yun Wang, D. P. Parsons and P. V. Hobbs (1983): The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in midlatitude cyclones. VI Wavelike rainbands with a cold frontal zone, Journal of the Atmospheric Sciences, **40**, 543–558.
- Ryan, B. F. and K. J. Wilson (1985): The Australian summertime cool change. Part III: Subsynoptic and mesoscale model, Monthly Weather Review, **113**, 224–240.